

OVM岩土锚固新技术在工程中的应用

甘国荣 方中予

【摘要】本文介绍了OVM新型锚具、环氧喷涂钢绞线和岩土锚杆技术的研制及其工程应用。随着这些新产品与新技术的进一步推广应用，必将对岩土工程技术的发展起到更为积极的促进作用。

【关键词】新型锚具 防腐 锚杆 施工技术

1 概述

当前，新技术革命浪潮冲击着一切经济部门，建筑业也不例外。许多现代化的科学技术方法和管理手段正逐步地应用于建筑业中，取得了越来越大的经济效益。预应力技术自三十年代诞生至今，以优越的性能和良好的经济效益成为土木建筑中发展最为迅猛的热门技术。我厂的OVM锚固体系异军突起于九十年代，以其优良的品质、先进的技术、完善的工艺在国内外预应力工程得到了广泛的应用，缩短了与先进国家之间的差距，代表了我国预应力先进的技术水平。

随着国内外预应力技术的发展，高强度钢绞线、高标号混凝土和体外预应力的使用将越来越多。长大桥梁、巨型结构物等大型建设对锚具的性能也提出了更高的要求。预应力锚固技术向更高效的方向发展。例如日本正在研究、开发2000Mpa级强度的镀锌钢丝和2300Mpa级PC钢绞线，而且目前国内已有2000Mpa级PC钢绞线的企业标准，虽然尚处于企业标准阶段，但也反映了钢绞线的发展趋势。同时，预应力锚具的检验标准在不断提高，高防腐、高强度的钢绞线和高防

腐、高荷载的岩土锚杆技术成为工程实践的迫切需要。预应力技术的迅猛发展使锚具生产厂家面临新的技术挑战。我厂为适应预应力技术的进一步发展，跟踪和达到国际先进水平，先后研制开发了新一代高性能、高效率锚固体系--OVM(A)型锚固体系、环氧静电喷涂钢绞线和岩土锚杆技术。

2 新一代高性能、高效率锚固体系——OVM(A)型锚固体系

为适应国内外预应力技术的发展和市场需求，在充分综合、吸收国内外先进锚具的研究成果，在现在OVM锚具成熟的技术、工艺、质量管理基础上，以1860Mpa级和2000Mpa级高强度钢绞线为锚固对象，我厂对锚具组件进行了大量试验分析研究和理论分析研究，对原有OVM锚具的结构参数进行优化，开发出了具有优越锚固性能和结构轻巧的高性能、高效率新一代OVM锚具——OVM(A)型锚固体系。

OVM(A)型锚固体系借助于计算机有限元辅助分析及国外同行的研究成果，对现有锚具的夹片、锚板、限位板、锚垫板、螺旋筋等锚固单元组件进行了优化设计。我们选取1、7孔锚具进

甘国荣：柳州市建筑机械总厂技术中心工程师
方中予：柳州市建筑机械总厂厂长助理、高工

行分析,如图1所示为改进前单孔锚板和改进后单孔、七孔锚板在钢绞线0.8Fpk拉力下的Von-mises应力分布云图。从图中可看出,单孔锚板改进后的应力分布与改进前相比相差不大。锚板的上部外周受到的应力最大,中部外周次之,下部外周最小,这与锚板的应变试验实际测试结果相似,锚板大部分的应力都在弹性范围内,有较大的安全储备。结合分析结果,我们设计了锚固单元方案和多孔锚板方案。

通过对锚具进行计算机有限元分析,这为锚具的优化设计提供了可靠的理论根据。

在计算机有限元辅助分析的基础上,我们采用国际领先的亚温碳氮共渗工艺和A-F防腐工艺,通过大量的应力应变试验,使OVM(A)型锚具的各项性能参数得以优化,成功减小了OVM(A)型锚具的外形尺寸,增强了锚具的自锚能力,提高了锚具的锚固及疲劳性能。

OVM(A)型锚具采用带有弹性槽的两片四分式夹片,通过调整夹片与锚板的锥度差来适应锚固单元整体尺寸的缩小;合理地减小了夹片的齿高,以减少夹片对钢绞线的咬伤程度;适当增大了夹片的牙形角,以保证牙齿的强度;为了保证施工方便可靠,防止滑丝,夹片的齿距不应过小,并适当改变夹片的齿径,改变夹片小端内孔的截齿锥度,在夹片小端锥面设置较长的倒坡等。这些齿形的改进措施增加了与钢绞线的接触

面积和磨擦力,有利于提高锚具的锚固性能,特别是提高了夹片的抗疲劳性能。同时减少了施工过程中出现滑丝或断丝的可能性。

和原有的OVM锚具相比,OVM(A)型锚具除具有结构轻巧合理外,还具有以下主要性能:

2.1 OVM(A)型锚具除了能可靠锚固1860Mpa级钢绞线外,同时也能可靠锚固2000Mpa级的高强度、低松弛预应力钢绞线。

2.2 OVM(A)型锚具具有优越的静载锚固性能,锚具效率在不考虑预应力筋的效率系数(0.97)时也满足 $\eta_A \geq 0.95$,延伸率 $\geq 2\%$,达到(FIP)1993《后张预应力体系验收建议》的要求。

2.3 经优化设计的OVM(A)型锚具不仅具有良好的静力性能,同时还具有优异的抗疲劳性能,按交通行业标准和国家标准,疲劳试验的应力幅度为80Mpa;按FIP93标准,疲劳试验的应力幅度要大于等于80Mpa,OVM(A)型锚具的疲劳试验的应力幅度为120Mpa,上限应力为 $0.65f_{pk}$,经200万次的抗疲劳性能试验。OVM(A)型锚具优异的抗疲劳性能大大超过了行业标准,达到国际先进水平。

2.4 OVM(A)型锚具能够控制及调校钢绞线束的应力,提高了锚固单元在低应力状态下自锁的可靠性、安全性。所以,OVM(A)型锚具

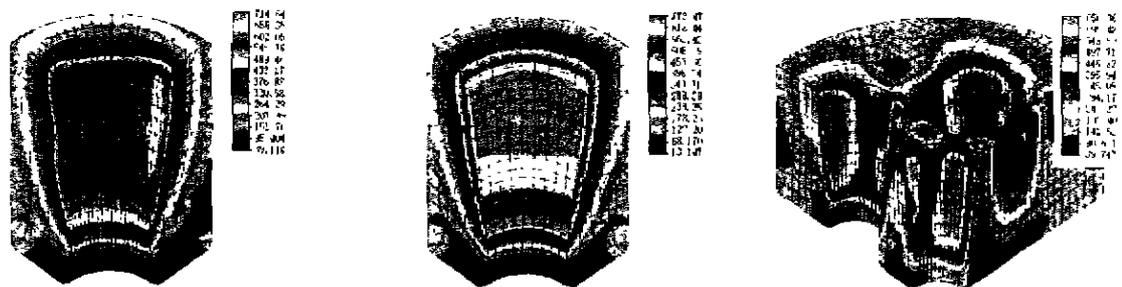


图1 单孔锚板和七孔锚板的应力分布云图

在低应力状态下具有可靠的锚固性能。

2.5 带有 5° 偏角的锚具组装件,其锚固性能达到标准要求。

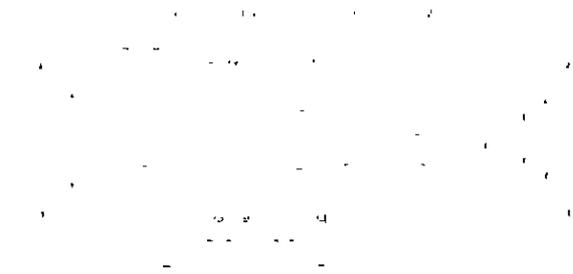


图2 OVM (A)型锚具结构示意图

2.6 锚具在钢绞线平行状态下的锚口摩阻损失小于1%,在钢绞线有折角状态下(包括锚垫板喇叭口处)的锚口摩阻损失小于2.5%。

OVM (A)型锚具应用工艺继承了现有OVM锚具的优点,适用现有的张拉设备,具有可分级反复张拉、不需要顶压锚固、操作方便、锚固可靠、通用性好等特点,另外锚具重量的减轻,方便了工程施工。

OVM (A)型锚具是我厂为适应预应力技术的发展需要而开发的新一代产品,OVM (A)型锚具优化设计,采用了新材料、新工艺,减少了结构尺寸,并改善了锚具的受力状态,进一步提高了锚具的综合锚固性能,有利于张拉机具的进一步小型化和高强混凝土的推广应用。

3 新型预应力材料——环氧静电喷涂钢绞线

环氧静电喷涂钢绞线是我厂研制的具有优异防腐性能的一种全新的防腐钢绞线,其全称为高压静电喷涂环氧粉末防腐钢绞线,环氧静电喷涂



图3 环氧静电喷涂钢绞线示意图

钢绞线的芯线和侧线各根钢丝的表面都有一层致密的环氧被膜,因此又被称为全涂装钢绞线,与镀锌钢绞线相比,具有更为优异的防腐性能。

这是利用国外先进的高环保无污染高压静电喷涂技术,通过打散钢绞线后,将环氧树脂粉末均匀喷射于钢丝上,然后加热熔融、固化、冷却,从而在钢丝表面形成一层致密的环氧涂膜。喷涂好以后,再将钢丝复扭成钢绞线。

采用环氧喷涂的钢绞线与镀锌钢绞线所用的防腐材料不同,因而防腐工艺区别于传统钢绞线的防腐工艺,具有环保价值。此外,环氧喷涂的钢绞线还具有以下特性:

3.1 应用高环保高压静电喷涂技术进行防腐处理的环氧喷涂钢绞线,其喷涂材料采用熔融键结型环氧树脂,具有良好的柔韧性、附着性、耐沸腾性、耐酸性、耐碱性、耐溶剂性和耐弯曲性,其防腐性能明显优于镀锌钢绞线,能大幅度提高钢绞线的使用寿命。

3.2 环氧喷涂钢绞线是一种高强度的防腐钢绞线,其防腐工艺不会损伤、降低钢绞线的各类性能指标,有利于保证钢绞线的长期最佳工作性能。

3.3 高压静电喷涂技术对构成钢绞线的各根钢丝都进行了充分的表面材质调整,与其它涂装法相比,膜厚较薄(平均 $150\sim 180\mu\text{m}$),而且其均匀、致密性能好,可靠性高。钢绞线涂装后仍可使用以往所用的锚具、夹片。因此,环氧喷涂钢绞线与OVM锚具有良好的适配性。

OVM环氧喷涂钢绞线的研制成功,解决了工程应用中钢绞线的防腐问题,解除了工程设计和施工中的后顾之忧,真正做到在各种环境条件下的防护稳定持久,为保证钢绞线的长期使用性能提供了一条崭新的防腐之道。尤其是在岩土工程的实践过程中,经常遭遇到不良地层的影响,

如有盐害的边坡工程、地下工程、码头、大坝及结构的抗浮等对防腐要求较高的永久性岩土工程，锚杆的防腐问题是影响工程质量的一大关键。传统钢绞线的防腐技术显然落后于工程实践的需要，由于缺乏有效的防护措施，以及各种地层因素的影响，锚杆的长期使用性能大为降低，因此而增加了许多的工程成本。OVM环氧喷涂钢绞线的问世，无疑将进一步提高锚杆整体防腐性能，使岩土锚杆加固技术更广泛地推广应用。

4 OVM锚杆技术

随着岩土锚固技术的发展，对锚索的要求越来越高，特别是永久建设物要求采用永久防护锚索。对外锚头，要有可靠的锚固效果，对锚索体要求具有高强、低松弛以及高防护性能，对锚固段，要求能够提供更高的锚固力。由于地质条件的复杂性，难以确保锚固的可靠性，因此，从改善内锚固段的受力条件出发，完善内锚固段的结构型式，使之提供更高、更稳定的锚固力。

若按锚固段受力状态分类，国内多采用拉力型锚索，但拉力型锚索在锚固段上部拉应力集中，会导致浆体产生渐进式开裂，影响了锚固效果，而荷载分散型锚索不仅受力机制合理有效，还可根据被加固体承载力大小，提供更稳定更高效的锚固力。结合岩土锚固技术的发展需要，并借鉴国外的研究成果和应用经验，我厂相继开发

了压力分散型锚索和拉压分散型锚索，它们针对拉力型和压力型锚索固有的应力集中现象，锚固段单位面积承载力低，不能充分利用岩土体的承载力等问题，开发的能在岩土锚固中能提供大吨位、高防腐的永久性新型锚索形式。

4.1 压力分散型锚索

压力分散型锚索的锚索体采用OVM无粘结环氧喷涂钢绞线，在不同长度的无粘结环氧喷涂钢绞线的末端套以承载板和OVM挤压套。当锚索体被浆体固结后，以一定荷载张拉对应的承载体的喷涂钢绞线时，设置在不同深度部位的数个承载体将压应力通过浆体传递给岩土体，这样，根据承载地层的地质情况，分层设置不同锚固单元的锚固区段长度，从而充分调动岩土体的承载能力，使整个锚固段的应力分布趋于合理、均匀，从而能提供较大的锚固力。而且，喷涂钢绞线的优异防腐性能也比一般的钢绞线更适于岩土锚固的永久性防护。

4.2 拉压分散型锚索

拉压分散型锚索是将无粘结钢绞线的下部剥除1~3mPE套管，变成拉力型锚固段，在无粘结段上部安装可移动的OVM挤压套和承载板，变无粘结钢绞线所在的锚固段为压力型锚固段，各层承载体的锚固单元依此处置，而形成拉压分散型锚索。当用千斤顶对无粘结钢绞线施加张拉力

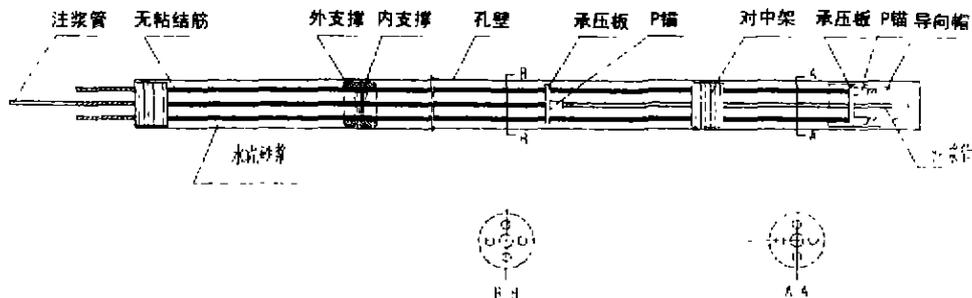


图4 压力分散型锚索结构示意图

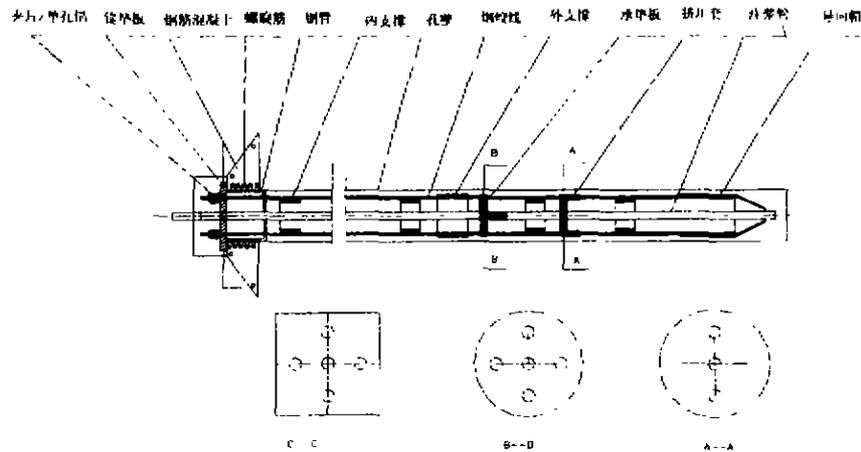


图5 拉压分散型锚索结构示意图

时，有粘结段钢绞线承担部分荷载，浆体受拉。当荷载继续增加时，钢绞线通过挤压套、弹性垫片、承载板将另一部分荷载以压应力的形式传给浆体，最后浆体以剪应力方式作用于岩土体上，这样，拉应力和压应力将荷载分散且均匀分布在锚固体中，浆体不被破坏，能够更充分地提高地层承载力，在相同地层中比一般锚索能提供更大的锚固力，也适于作永久性锚固。

5 工程应用

5.1 压力分散型锚索的工程应用

5.1.1 工程概况

云南省个旧~冷墩二级公路K22+336~K22+514边坡工程位于个旧市保和乡政府驻地以北沟谷地带。该区地形横坡十分陡峻，坡脚局部形成陡壁。边坡覆盖层主要为坡洪积碎石土、亚粘土（粉质粘土）及下伏板岩、灰岩等。

5.1.2 边坡支护方案

场区分布的碎石土、亚粘土（粉质粘土）抗剪性能较差，加之位于高角度边坡之上，边坡稳定性差，对ZK₁、ZK₂、ZK₃、ZK₄、ZK₅、ZK₆六个钻孔区段进行削坡及在坡脚设置挡墙，其余区段设置挡墙，挡墙高度应大于最大洪峰水位。边坡地层经受了强烈的挤压，岩体产状变化大，

层理、节理发育，岩体间联接力低，为防止岩体产生层间滑动，对坡体进行预应力锚索地梁及预应力锚索加桩板墙的防护。

根据自然坡体的特点，上坡体采用预应力锚索加“一”字竖梁防护，地梁与地梁之间暴露部分为防止坡面风化、剥蚀，采用种草加浆砌片石进行处理，下坡体采用预应力锚索加承载墩防护。坡面暴露部分采用同上坡体相同的措施进行防护。为排除地下水的对边坡稳定的不良影响，提高岩土体的抗剪强度，在坡脚及回填土处，设置仰斜排水孔，孔间距5~7m，孔径 $\Phi 100$ ，仰斜5~10°，并采用特殊的透水型排水软管。

对于工程地质条件较差，有倾向于临空面的不利结构面的高边坡中路段，其坡脚应力集中，有滑塌可能，根据推力计算，在各级设置支挡工程，工程措施既要满足坡体的整体稳定，又要满足局部稳定的要求，同时要保证施工过程中的临时稳定。

5.1.3 OVM压力分散型锚索设计

锚索设计承载力分别为：750KN、1200KN、1600KN，对应于设计吨位的压力分散型锚索结构形式分别为：两级承载板、5根钢绞线；三级承载板、8根钢绞线和四级承载板、11

根钢绞线。其索体材料采用我厂研制成功的OVM无粘结环氧喷涂钢绞线, $\Phi=15.24\text{mm}$, 其强度标准值为1860Mpa, 采用OVM15锚具(包括配套的锚垫板、锚板、夹片和螺旋筋)。注浆材料采用使用普通硅酸盐525#水泥, 外加剂采用UEA-Z膨胀剂和UNF-5高效早强减水剂, 配制的纯水泥浆水灰比为0.38, 其浆体强度可达80Mpa。

由于采用高强度配比的浆体, 使得锚索充分发挥其压力分散的优点, 利用岩土体的承载力, 提供大吨位的锚固力。锚索预应力张拉采用大小千斤顶相结合, 大千斤顶进行整体张拉, 小千斤

顶进行补偿张拉。用这种方式来解决压力分散型锚索整体张拉中各承载体上环氧喷涂钢绞线的受力不均匀问题。

本工程设计的压力分散型锚索采用OVM无



图6 云南个旧-冷墩二级公路边坡加固工程

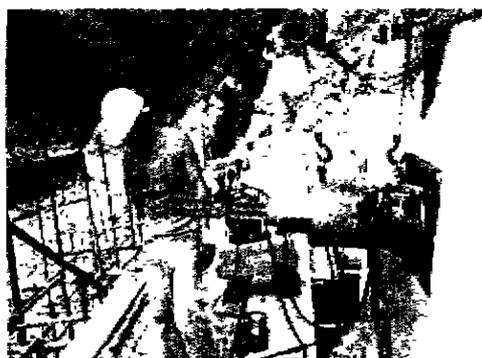
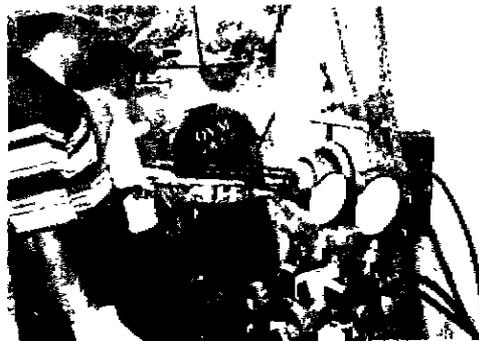


图7 OVM环氧喷涂钢绞线在个-冷公路边坡加固上的应用

表1 锚索拉拔试验成果记录表

锚索编号	锚孔深度 (m)	锚孔孔径 (mm)	拉拔机具	试验荷载 (KN)	设计索力 (KN)	安全系数
1#	25.2	前12.2m为 $\Phi 172$ 、后13m为 $\Phi 150$	YDC240Q YCW250A	2288	1600	1.43以上
2#	20.2	$\Phi 152$	YDC240Q YCW250A	1664	1200	1.39以上
3#	15.2	前18.4m为 $\Phi 170$ 、后6.8m为 $\Phi 150$	YDC240Q YCW100-200	1040	750	1.39以上
4#	25.2	$\Phi 153$	YDC240Q YCW250A	2288	1600	1.43以上
5#	15.2	$\Phi 151$	YDC240Q YCW100-200	1040	750	1.39以上
6#	20.2	$\Phi 152$	YDC240Q YCW250A	1920	1200	1.6以上

粘结环氧喷涂钢绞线, 钢绞线拥有环氧涂层、油脂涂层和聚乙烯套管的三重防腐保护, 而且, 由于锚索的压力型作用机制, 使得锚固段的浆体不会产生裂缝, 能有效地保护锚索体, 因而大幅度提高了锚索的防腐性能。

通过锚索的拉拔试验, OVM无粘结环氧喷涂钢绞线与OVM锚具的适配性很好, 锚索的安全系数满足的规范要求。从中可以看出, 环氧喷涂钢绞线与OVM锚具的良好适配性, 使其在岩土锚固工程中的广泛应用成为可能, 特别是岩土工程的永久锚固与防护。

5.2 拉压分散型锚索的工程应用

5.2.1 工程概况

广西桂柳高速公路K248路基位于桂林地区永福县城西6Km, 洛清江龙溪电站溢流坝坝肩处。路基下面为浆砌石挡土墙, 墙高8~12m, 挡土墙至路坡肩坡角32°, 坡距12m。从路面中心往下, 其土层大致分布为: 0~5.8m为杂填土, 主要为黄色或褐红色土、浅黄色粉土, 夹有小颗粒砾石; 5.8~10.4m为褐红色硬质粘土, 部分地段为粉砂段, 遇地下含水层后呈泥浆段。该处路基沉陷塌滑长度为36m, 路面最大裂缝宽度为19mm, 路肩最大沉降25.5cm, 路基下挡土墙最大外移6cm, 路基处于滑移状态。

5.2.2 边坡支护方案

锚索设置为三排, 排间距为4×3m。每根锚

索由4根 $\Phi=15.24\text{mm}$, 其强度标准值为1670Mpa级无粘结钢绞线组成。每根锚索的设计锚固力为600KN。第一、二排锚索外锚头设置钢筋砼承载梁, 第三排则设计为钢腰梁, 采用25#槽钢, 布置在浆砌挡土墙上。钢腰梁与挡土墙间设置细石砼垫层。锚索设计长度为19~27.5m, 内锚头锚固在褐红色硬质粘土层。锚索设计参数见表2。

5.3.3 OVM拉压分散型锚索设计

OVM拉压分散型锚索是在压力分散型锚索的基础上, 利用承载板下部的裸钢绞线与浆体的粘结力及压力分散结构共同作用, 使得承载板上面的锚固体受压, 而后一个承载板下面的有粘结钢绞线段受拉, 二者共同抵抗张拉力, 其方向与张拉力相反。这样, 拉应力和压应力相互叠加, 使得整个锚固体内应力及锚固体与周边土体间的粘结摩阻应力分布较为均匀, 应力峰值得以大幅降低。从而可以充分利用土体的抗剪强度, 锚固效果将更加理想。



图8 OVM拉压分散型锚索在广西桂柳高速公路的应用

表2 锚索设计参数表

编排	锚索根数	锚索组成	锚索孔径 (mm)	钻孔深度 (m)	钻孔角度 (°)	单索设计张 拉力(KN)	单索设计锚 固力(KN)	总锚固力 (KN)	总张拉力 (KN)
第一排	18	4 Φ 15.2	Φ 150	21.5	18	320	600	10800	5760
第二排	18	4 Φ 15.2	Φ 110	27	18	320	600	10800	5760
第三排	4	4 Φ 15.2	Φ 110	19	16	320	600	2400	1280

按钻孔深度及锚索结构图计算出无粘结钢绞线下料长度,在内锚固段有粘结段剥除1m长有粘结段钢绞线,紧靠承载板位置套上OVM15P型锚具,用穿心式挤压机挤压OVM15P型锚,两个承载板相隔1m。注浆材料采用水泥砂浆,水泥、砂的配合比为1:1,水灰比为0.4,TQ型外加剂按水泥重10%掺加,浆体强度达60Mpa。锚索张拉采用OVM-YC20Q-150和OVM-YC18-100两台小型千斤顶。在预应力张拉过程中,实行信息施工法施工。在施加预应力前全面测量被加固体高程及路面裂缝宽度,在张拉锚索过程中和锁定后,严格监视裂缝的变化。经监测表明,在整个施工过程中裂缝没有发展。

本工程的应用实践表明,OVM拉压分散型锚索结构合理、受力更加均衡,避免了由于应力集中导致锚索失效,延长了锚索的寿命。近年来,土层锚杆的应用越来越广泛,但由于地质条

件千变万化,很难准确选取土体力学指标值,给设计者提出了一道难题。随着OVM拉压分散型锚索的开发与应用,无疑为解决软弱土层的承载力问题提供了一种新思路。

6 结束语

综上所述,我厂为适应预应力技术的发展和工程实践的需要而开发的新一代产品:OVM(A)型锚固体系、环氧喷涂钢绞线以及岩土锚杆技术,将以其卓越的性能,大力推进我国的预应力技术的发展,进一步提高工程建设的质量,使高强度、耐腐蚀的预应力材料广泛地推广应用。

参考文献

1. 程良奎 《岩土加固实用技术》,地震出版社。
2. 阎莫明 《岩土锚固技术的新进展》,人民交通出版社。
3. 田裕甲 《锚索类型的分析》
4. 《第六届后张预应力学术交流会论文集》。

柳州建机被列为广西区“走出去”重点企业



据悉,日前,自治区人民政府办公厅在转发自治区外经贸厅、自治区经贸委《关于贯彻实施走出去战略的若干意见的通知》中,我厂被列为今年广西首批“走出去”重点企业之一。

广西实施“走出去”战略的总体思路是,进一步贯彻党中央关于“走出去”的战略部署,充分利用国内国外两个市场、两种资源,发挥广西的区位优势,有计划、有重点、有步骤地扩大对外经济技术合作的领域、途径和范围,带动广西产品、设备、技术出口和劳务输出,以项目为载体实行重点扶持,实现“走出去”工作的重点突

破。“走出去”的市场开拓策略是:巩固加强东南亚市场,进一步开拓中东、非洲、拉美等发展中国家市场,适度开发大洋洲、北美洲和欧洲市场。广西实施“走出去”战略的主要途径是:1.优势生产能力的输出——境外投资办厂。2.专业建设能力的输出——对外承包工程。3.富余劳动力输出——国际劳务合作。

《通知》中公布我厂作为广西首批“走出去”重点企业的重点项目是预应力生产企业。

摘编自《柳州晚报》,作者铁马